

PTO 02-2143

Japan Kokai

61-152084

SEMICONDUCTOR NEUTRON DETECTOR

(Handotai Chuseishi Kenshutsuki)

Yasukazu Seki and Noritada Sato

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Washington, D. C.

April 2002

Translated by: Schreiber Translations, Inc.

Country : Japan

Document No. : 61-152084

Document Type : Kokai

Language : Japanese

Inventor : Yasukazu Seki
Noritada Sato

Applicant : Fuji Electric Co., Ltd.

IPC : H 01 L 31/00
G 01 T 1/24
3/08

Application Date : December 25, 1984

Publication Date : July 10, 1986

Foreign Language Title : Handotai Chuseishi Ken-
shutsuki

English Title : SEMICONDUCTOR NEUTRON
DETECTOR

SPECIFICATION

I. Title of the Invention

Semiconductor Neutron Detector

II. Claims

1. A semiconductor neutron detector, characterized by that a monocrystalline semiconductor substrate and an amorphous semiconductor layer which form a heterojunction between them and electrodes which contact with said monocrystalline semiconductor substrate and said amorphous semiconductor layer on the opposite sides of said junction are provided and a major part of one electrode is coated and plural boron thin films are laminated via an amorphous semiconductor thin film.

2. A semiconductor neutron detector, characterized by that the boron thin films are films containing ^{10}B in a high concentration in the detector described in Claim 1.

III. Detailed Description of the Invention

[Technical Field of the Invention]

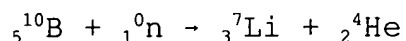
This invention relates to a semiconductor neutron detector which detects an α -ray generated from an isotope of boron ^{10}B by the

¹Numbers near the margin indicate pagination in the foreign text.

incidence of a neutron ray to detect the neutron ray.

[Prior Art and Problems Thereof]

A gas-sealed type detector using a BF_3 tube is given as the detector of a neutron ray. When a neutron ray is incident into a tube sealed with BF_3 gas, this detector takes such a mechanism that α -ray generated according to a reaction expressed by the following formula is detected by an isotope of boron ^{10}B with a large cross-section area of neutron absorption.



Such a gas-sealed type detector had such problems of low detection sensitivity and bad counting characteristic because glass, etc. exist at the incident plane of said detector and a part of neutrons are captured. Moreover, the structure is complicated and deficient in stability, and the shape of said detector become very big and heavy. Accordingly, when a moderator is used for the detection of a fast neutron ray, the moderator installed at its surroundings is also extremely large and heavy, therefore the practical use is difficult.

More recently, however, with an increase of neutron generators such as atomic reactor or accelerator, etc., the detector has been driven by a necessity to examine what kinds of neutron ray, i.e., what energies of neutron ray generate and give an appropriate

measure for influences of the neutron ray on human body. Therefore, an equipment called ホナボ-ル has been used for detecting the energy

/2

spectrum image of fast neutron ray. It detects the energy spectrum image of fast neutron ray by means of a neutron ray irradiation using gold (^{197}Au) in a neutron detecting part and using several moderators, such as polyethylene, etc., with changed thickness which should corresponding to energies at its surroundings and then by means of radiation of gold ($^{197}\text{Au} - ^{198}\text{Au}$). Although this equipment is miniaturized to some extent, after the neutron ray is irradiated once, results come out first by radio activation analysis and are not measured in real time.

The use of a semiconductor radiation detector which can be miniaturized as a detection unit is considered for a measurement in real time. The principle of said semiconductor radiation detector consists in that a diode structure is formed by any method of a PN junction or a semiconductor-metal Schottky junction or a crystalline semiconductor-amorphous semiconductor heterojunction, etc., a reverse-biased voltage is applied to this diode to expand the depletion layer in the semiconductor, then electron-hole pairs generated by a radiation flying into this depletion layer are counted and detected as a current pulse. Germanium (Ge) or silicon (Si), etc. have been used as the semiconductor materials, and

silicon is overwhelmingly used as a radiation dose-meter in the industry because of easy availability of material at present. More recently, a high-purity and high-specific resistance silicon has been increasingly used from a demand for low-voltage actions.

Among the radiations, X-ray, α -ray, β -ray and γ -ray directly generate the electron-hole pairs in the semiconductor depletion layer and make the radiation detectable, but the neutron ray does not exert any effects on the Coulomb field of orbital electrons or atomic nuclei, except for nuclear reactions, because it does not have a charge, accordingly it does not generate the electron-hole pairs in the semiconductor depletion layer, thus a direct detection of the neutron ray is impossible. Therefore, a method wherein an α -ray is generated by the above ^{10}B (n, α) reaction, the α -ray forms the electron-hole pairs in the semiconductor depletion layer to detect it is given as a detection method of the neutron ray. However, boron has an extremely high melting point of over 2,000°C and is difficult to form a boron simple substance layer. Even if the boron layer is formed, there were problems of destruction or aging of semiconductor element itself to be detected because of high temperature. Particularly, semiconductors used in a radiation detector are high-purity and high-specific resistance, a low-temperature process is especially required in manufacturing processes. In a high-purity and high-specific resistance silicon, thermal distortion is said to start to occur at 400°C or higher.

Accordingly, a high-temperature process of over 800°C which has been generally used in manufacturing processes of semiconductor elements is not suited to the semiconductor radiation detector. For example, a neutron ray detector of combining a boron phosphide layer and a semiconductor PN junction becomes well-known, but it has problems as shown below.

- ① A thermolysis is used for the formation of boron phosphide, therefore a semiconductor substrate is exposed to a high temperature of 900°C and the deterioration of semiconductor characteristics cannot be avoided by the above reason.
- ② The isotope of boron ^{10}B naturally exists in a ratio of $^{10}\text{B}:^{11}\text{B} = 1:4$, even if additional ^{10}B is added to make it high-concentration, the concentration of ^{10}B is reduced by phosphorus added with phosphine (PH_3).
- ③ Because the prepared boron phosphide layer also has a thickness of 20 μm , the generated α -ray decreases due to self-absorption, therefore the neutron detection sensitivity reduces.

As neutron ray detectors for solving such problems, semiconductor neutron detectors relating to inventions of the inventors have been applied for in Japan Patent Appl. S59-158414 and Japan Patent Appl. S59-158415. The detectors described in these applications took a heterojunction diode structure with amorphous silicon coated on the surface of a high-purity monocrystalline silicon as a basic structure for the formation of a depletion layer, and a

boron thin film containing excess boron isotope ^{10}B in this diode was formed by a plasma CVD method using diborane of ^{10}B ($^{10}\text{B}_2\text{H}_6$). Now, if the sensitivity in case of using a silicon wafer having a surface area of 10 cm^2 , the counting rate $A = N\sigma\phi$ at the neutron flux density of 100 mV , however, N is the atomic density, σ is the scattering cross-section, and ϕ is the flux density. The maximum thickness of boron thin film formed by the above method is $1,500\text{ \AA}$, and A becomes the following expression in case of $1,500\text{ \AA}$.

$$A = 2.0 \times 10^{23} \times 1500 \times 10^{-7} \times 3814 \times 10^{-24} \times 100 \times 10$$

/3

where 2.0×10^{23} is the atomic density of ^{10}B , 1500×10^{-7} is the film thickness of ^{10}B thin film, 3814×10^{-24} is the scattering cross-section of ^{10}B , 100 is the flux density and 10 is the area, consequently A becomes 10 cps .

However, a neutron detector with a higher counting rate has been demanded.

[Purpose of the Invention]

This invention is aimed at further increasing the dose rate of a neutron detector which is provided with a heterojunction between an amorphous semiconductor and a monocrystalline semiconductor and utilizing the fact that an α -ray produced by a neutron ray incident into a boron thin film generates electron-hole pairs in a depletion layer formed by applying a reverse bias to said heterojunction.

[Essentials of the Invention]

According to this invention, the above purpose is achieved by that a monocrystalline semiconductor substrate and an amorphous semiconductor forming a heterojunction between them and electrodes which contact with said monocrystalline semiconductor substrate and said amorphous semiconductor on the opposite sides of said junction are provided and the major part of one electrode is coated and plural boron thin films are laminated via amorphous semiconductor thin films.

[Actual Example of the Invention]

Fig. 1 is one actual example of this invention and is prepared as follows. An amorphous silicon layer **2** is deposited on a monocrystalline silicon plate **1** of 40 mm in diameter and 10 kΩcm or above in specific resistance by a direct current plasma CVD method using monosilane (SiH_4) diluted to 10% with hydrogen to form a heterojunction. Subsequently, a metal electrode **31** is coated on the top of said amorphous silicon layer **2**, e.g., by vacuum vapor deposition of Al, and a metal electrode **32** is similarly coated on the under surface of said monocrystalline silicon plate **1** via a boron thin film **4**. The boron thin film **4** is formed by a direct current plasma CVD method using diborane of ^{10}B ($^{10}\text{B}_2\text{H}_6$), formation conditions are the substrate temperature 200°, the pressure 2.0 Torr and the applied voltage 560 V. An amorphous silicon film **5** similarly produced as the amorphous silicon layer **2** and a boron

thin film 6 similarly produced as the boron thin film 4 are alternately formed on the metal electrode 31. At this time, terminals of said electrode 31 are certainly exposed. This enables to thicken the thickness at the whole of boron thin film which could not be increased by a single layer and increase the generated α -ray. The boron thin film 4 on the rear side plays a role for the α -ray generation by a neutron ray penetrating the monocrystalline silicon plate 1 in addition to the ohmic contact formation for the monocrystalline plate 1.

The use of said amorphous silicon film 5 as an intermediate layer is based on such reasons that the intimacy with the boron films is good, the formation of a thin film is easy to reduce the absorption of α -ray, equipments used in the heterojunction formation can be used as they are, etc. A reason why the boron thin film 6 is formed after the amorphous silicon layer 5 is coated once on the electrode 31 is due to the fact that the close adherence of the Al vapor deposition film and the boron thin film is hard to be made, but it may also be coated with a direct boron thin film according to materials of said electrodes.

Films formed by using diboranes of natural boron can also be used as the boron thin film 6, but a small number of said boron thin films and said intermediate layers or a small total thickness is desirable if it is said from the absorption of neutron ray and generated α -ray, therefore a film of high-concentration of ^{10}B is

effective.

[Effects of the Invention]

This invention enables to increase the boron film thickness, which was difficult before, by laminating boron thin films for generating an α -ray with a neutron ray via an amorphous semiconductor thin films through which the α -ray easily penetrates on the surface of a radiation detector where a depletion layer is formed by use of a heterojunction between a monocrystalline semiconductor and an amorphous semiconductor. This also increases the neutron ray detection sensitivity because an opportunity of the neutron ray to penetrate through the boron films increases and consequently the generated α -ray increases.

IV. Brief Description of the Drawings

Fig. 1 is a sectional view of one actual example of this invention.

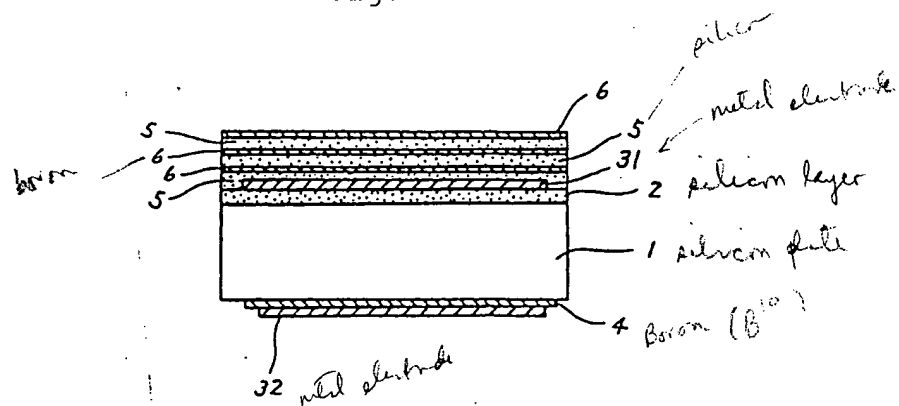
- 1 : monocrystalline silicon plate
- 2 : amorphous silicon layer
- 31, 32 : metal electrodes
- 4, 6 : boron thin films
- 5 : amorphous silicon film

/4

- 1 : monocrystalline silicon plate

- 2 : amorphous silicon layer
- 31 : metal electrodes
- 4, 6 : boron thin films
- 5 : amorphous silicon film

Fig. 1



DERWENT-ACC-NO: 1986-221670
DERWENT-WEEK: 198634
COPYRIGHT 1999 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Semiconductor neutron detector - has single crystal
semiconductor
substrate, electrode, and boron thin film NoAbstract Dwg 0/1

PATENT-ASSIGNEE: FUJI ELECTRIC MFG CO LTD[FJIE]

PRIORITY-DATA: 1984JP-0281431 (December 25, 1984)

PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PUB-DATE	LANGUAGE	PAGES
MAIN-IPC			
JP 61152084 A	July 10, 1986	N/A	004
N/A			
JP 92047993 B	August 5, 1992	N/A	003
H01L 031/09			

APPLICATION-DATA:

PUB-NO	APPL-DESCRIPTOR	APPL-NO	
APPL-DATE			
JP61152084A	N/A	1984JP-0281431	
December 25, 1984			
JP92047993B	N/A	1984JP-0281431	
December 25, 1984			
JP92047993B	Based on	JP61152084	N/A

INT-CL (IPC): G01T001/24; G01T003/08 ; H01L031/09

ABSTRACTED-PUB-NO:

EQUIVALENT-ABSTRACTS:

TITLE-TERMS:

SEMICONDUCTOR NEUTRON DETECT SINGLE CRYSTAL SEMICONDUCTOR SUBSTRATE
ELECTRODE
BORON THIN FILM NOABSTRACT

DERWENT-CLASS: L03 S03 U12

CPI-CODES: L03-E05;

EPI-CODES: S03-G01; U12-A02B;

⑫ 公開特許公報(A)

昭61-152084

⑪ Int.Cl.⁴

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 昭和61年(1986)7月10日

H 01 L 31/00
G 01 T 1/24
3/087733-5F
8105-2G
8105-2G

審査請求 未請求 発明の数 1 (全4頁)

⑭ 発明の名称 半導体中性子検出器

⑮ 特 願 昭59-281431

⑯ 出 願 昭59(1984)12月25日

⑰ 発 明 者 関 康 和 横須賀市長坂2丁目2番1号 株式会社富士電機総合研究所内

⑰ 発 明 者 佐 藤 則 忠 横須賀市長坂2丁目2番1号 株式会社富士電機総合研究所内

⑰ 出 願 人 富士電機株式会社 川崎市川崎区田辺新田1番1号

⑰ 代 理 人 弁理士 山口 巖

PTO 2002-2143

S.T.I.C. Translations Branch

明 細 書

1. 発明の名称 半導体中性子検出器

2. 特許請求の範囲

1) その間にヘテロ接合を形成する単結晶半導体基板および非晶質半導体層と該単結晶半導体基板および非晶質半導体層に接合の反対側でそれぞれ接触する電極とを備え、一方の電極の大部分を覆って複数のほう素薄膜が非晶質半導体薄膜を介して積層されたことを特徴とする半導体中性子検出器。

2) 特許請求の範囲第1項記載の検出器において、ほう素薄膜が¹⁰Bを高濃度に含む膜であることを特徴とする半導体中性子検出器。

3. 発明の詳細な説明

【発明の属する技術分野】

本発明は、中性子線の入射によってほう素の同位元素¹⁰Bから発生するα線を検知して中性子線を検出する半導体中性子検出器に関する。

【従来技術とその問題点】

中性子線の検出器としては、BF₃管を用いたガ

ス封入型の検出器がある。この検出器は中性子線がBF₃ガスを封入した管内に入射した際、中性子吸収断面積の大きいほう素の同位元素¹⁰Bの次式で示す反応に従って発生するα線を検知する仕組みとなっている。



このようなガス封入型の検出器は、検出器の入射面にガラスなどがあるために中性子の一部が捕獲されるので検出感度が低く、計数特性が悪いという問題があった。また構造が複雑で安定性が乏しく、検出部の形状が極めて大きく重くなる。従って速中性子線の検出に減速材を用いるときは、その周囲に取り付ける減速材も極めて大きく、かつ重くなるため実用化は困難である。

しかし最近では、原子炉や加速器などの中性子線発生源の増加により、どのような中性子線、すなわちどのようなエネルギーの中性子線が発生しているのかを調べ、中性子線の人体への影響などに対して、適切な対策を施す必要に迫られている。

このためにボナーボールと呼ばれる装置が速中性

子線エネルギースペクトル像を検出するのに用いられている。これは中性子検出部分に金 (^{197}Au) を用い、その周囲に各エネルギーに対応すべくポリエチレン等の減速材の厚みの変えたものを数個用いて中性子線照射後、金の放射化 ($^{197}\text{Au} \rightarrow ^{198}\text{Au}$) を利用して中性子線スペクトル像を検出するものである。この装置はある程度小型化されるが、一度中性子線を照射した後、放射化分析ではじめて結果が出るというもので、リアルタイムで測定するものではない。

リアルタイムで測定するには検出部として小型化できる半導体放射線検出器の利用が考慮される。半導体放射線検出器の原理は、PN接合や半導体-金属ショットキー接合、または結晶半導体-非晶質半導体ヘテロ接合等のいずれかの方法でダイオード構造を形成し、そのダイオードに逆バイアス電圧を印加して半導体中に空乏層を広げ、この空乏層中に飛来した放射線により発生する電子-正孔対を電流パルスとしてカウントし検出するものである。半導体素材としては、ゲルマニウム

半導体素子自身が高温のため破壊あるいは劣化してしまうという問題があった。なかでも放射線検出器に使用する半導体は高純度、高比抵抗であるため、特に作製プロセスにおいては低温プロセスが要求される。高純度、高比抵抗シリコンにおいては、400℃以上で熱的歪が生じ始めるといわれている。従って半導体素子作製プロセスで一般的に用いられている800℃以上の高温プロセスは、半導体放射線検出器には適さない。例えばりん化ほう素層と半導体PN接合とを組み合わせた中性子線検出器が公知となっているが、これにも次に示すような問題がある。

①りん化ほう素層形成には熱分解を使用するため、900℃の高温に半導体基体を晒すことになり、前述した理由により半導体特性劣化は避けられない。
②ほう素の同位元素 ^{10}B は自然界に($^{10}\text{B} : ^{11}\text{B} \approx 1 : 4$)の割合で存在するが、これに ^{10}B をさらに加えて高濃度としても、フォスフィン(PH_3)を用いて加えられるりんによって ^{10}B の濃度は減少する。

(Ge) や、シリコン (Si) 等が用いられており、工業的に放射線線量計として用いられているのは、現在素材の入手が容易であることからシリコン (Si) が圧倒的に多い。また最近では低電圧動作の要求から高純度、高比抵抗シリコンが用いられるようになって来ている。

放射線のうち、X線、 α 線、 β 線、および γ 線は、半導体空乏層内で直接電子-正孔対を生じさせ、放射線検出が可能であるが、それ等に対して中性子線は電荷をもっていないので、核反応以外には軌道電子や原子核のクーロン場になんらの作用も及ぼさず、従って半導体空乏層内で電子-正孔対は生じず、中性子線の直接の検出は不可能である。このため中性子線の検出方法として、上述の $^{10}\text{B} (n, \alpha)$ 反応を用いて α 線を発生させ、その α 線が半導体空乏層内で電子-正孔対を生成し、これを検出する方法がある。しかし、ほう素は2000℃以上の極めて高い融点をもち容易にほう素単体層を形成することは困難である。たとえばほう素層を形成したとしても、 α 線を検知すべき半

③作成したりん化ほう素層の厚みが20 μm もあるため、発生 α 線が自己吸収により減少し、そのため中性子検出感度が低下する。

このような問題点を解決した中性子線検出器として本発明人等の発明に係る半導体中性子検出器が特願昭59-158414号および特願昭59-158415号で出願されている。これらの特許出願明細書に記載された検出器は、高純度単結晶シリコン表面上に非晶質シリコンを被着させたヘテロ接合ダイオード構造を空乏層生成のための基本構造とし、このダイオード内にほう素の同位元素 ^{10}B を過剰に含むほう素薄膜を ^{10}B のジボラン ($^{10}\text{B}_2\text{H}_6$) を用いたプラズマCVD法で形成したものであった。今、10 μm の表面積をもつシリコンウエハを用いた場合の感度を計算すると、中性子線線束密度 100 μV では計数率 $A = N \sigma \phi$ 、ただし N は原子密度、 σ は散乱断面積、 ϕ は線束密度である。上記の方法で形成されるほう素薄膜の厚さは最大1500Åで、1500Åの場合は A は次式となる。

$$A = 2.0 \times 10^{23} \times 1500 \times 10^{-8} \times 3814 \times 10^{-14} \times 100 \times 10$$

2.0×10^{22} は ^{10}B の原子密度、 1500×10^{-8} は ^{10}B 薄膜の膜厚、 3814×10^{-24} は ^{10}B の散乱断面積、100 は線束密度、10 は面積で、この結果 A は 10 cps となる。

しかしさらに計数率の高い中性子検出器が要望されている。

【発明の目的】

本発明は、非晶質半導体と単結晶半導体の間のヘテロ接合を備え、ほう素薄膜に入射する中性子線によって生ずる α 線がそのヘテロ接合への逆バイアス印加によって形成される空乏層に電子-正孔対を発生させることを利用した中性子検出器の線量率をさらに高めることを目的とする。

【発明の要点】

本発明によれば、その間にヘテロ接合を形成する単結晶半導体基体および非晶質半導体層と該単結晶半導体基体および非晶質半導体層に接合の反対側でそれぞれ接触する電極とを備え、少なくとも一方の電極の大部分を覆って複数のほう素薄膜が非晶質半導体薄膜を介して積層されていること

である。これにより単層では厚くできなかったほう素膜の総体での厚さを厚くし、発生 α 線を増加させることができる。なお裏面側のほう素薄膜 4 は、単結晶板 1 へのオーム接触形成のほか、単結晶板を透過した中性子線による α 線発生のために役立つ。

中間層として非晶質シリコン膜 5 を用いるのは、ほう素膜とのなじみがよいこと、薄い膜の形成が容易で発生した α 線の吸収が少ないこと、ヘテロ接合形成に利用した装置がそのまま用いられることなどの理由による。また電極 31 の上に一旦非晶質シリコン膜 5 を被着したのちほう素薄膜 6 を形成する理由は、Al 蒸着膜とほう素膜との密着ができにくいことによるが、電極の材質によっては直接ほう素薄膜で被着してもよい。

ほう素薄膜 6 としては天然ほう素のジボランを用いて生成される膜を用いることもできるが、中性子線ならびに発生した α 線の吸収の点からいえば、ほう素薄膜および中間層の数あるいは総厚さは小さい方が望ましいので、 ^{10}B の濃度の高い膜

によって上記の目的が達成される。ほう素薄膜は ^{10}B を高濃度に含む膜であることが望ましい。

【発明の実施例】

第 1 図は本発明の一実施例を示し、次のようにして作成される。直径 40 mm の比抵抗 $10 \text{ k}\Omega \text{ cm}$ 以上の単結晶シリコン板 1 の上に水素で 10% に希釈したモノシラン (SiH_4) を用いた直流プラズマ CVD 法によって非晶質シリコン層 2 を堆積させ、ヘテロ接合を形成する。次いで非晶質シリコン層 2 の上面に、例えば Al の真空蒸着により金属電極 31 を被着し、単結晶シリコン板 1 の下面にはほう素薄膜 4 を介して金属電極 32 を同様に被着する。ほう素薄膜 4 はほう素の同位元素 ^{10}B のジボラン ($^{10}\text{B}_2\text{H}_6$) を用いた直流プラズマ CVD で生成され、生成条件は基板温度 200°C 、圧力 2.0 Torr 、印加電圧は 560 V である。さらに金属電極 31 の上には、非晶質シリコン層 2 と同様にして生成される非晶質シリコン膜 5、ほう素薄膜 4 と同様にして生成されるほう素薄膜 6 を交互に形成する。この際、電極 31 の端子部を露出させておくことは当

であることが有効である。

【発明の効果】

本発明は単結晶半導体と非晶質半導体との間のヘテロ接合を利用して空乏層を形成した放射線検出器の表面に、中性子線により α 線を発生させるためのほう素薄膜を α 線を容易に透過する非晶質半導体薄膜を介して積層することにより、従来困難であったほう素膜厚みを増加することを可能にした。これにより中性子線がほう素膜を透過する機会が増加し、この結果発生 α 線が増加するので、中性子線検出感度も向上する。

4. 図面の簡単な説明

第 1 図は本発明の一実施例の断面図である。

1 : 単結晶シリコン板、2 : 非晶質シリコン層、31, 32 : 金属電極、4, 6 : ほう素薄膜、5 : 非晶質シリコン膜。

REPROD. BY 〇



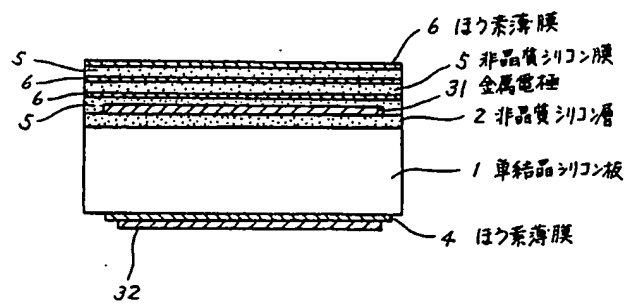


図 1